

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-047601

(43)Date of publication of application : 12.02.2004

(51)Int.Cl.

H01L 21/363

C23C 14/06

C23C 14/14

(21)Application number : 2002-200948

(71)Applicant : JAPAN SCIENCE & TECHNOLOGY  
CORP

(22)Date of filing : 10.07.2002

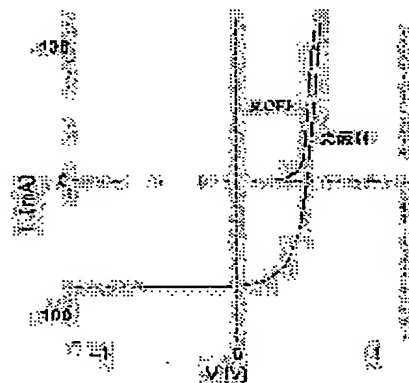
(72)Inventor : YOSHITAKE TAKESHI  
MAEDA YOSHIHIRA  
MIYAO MASANOBU  
SADO TAIZO

## (54) IRON SILICIDE SEMICONDUCTOR THIN FILM AND ITS MANUFACTURE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a manufacturing method, wherein photoelectric characteristic is controlled with respect to a  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> or amorphous iron silicide semiconductor.

**SOLUTION:** The iron silicide semiconductor thin film is constituted, by changing optical band gap through hydrogenation. Alternatively, the same is constituted by controlling a carrier concentration through hydrogenation. Or the iron silicide semiconductor thin film is manufactured by a method, wherein hydrogen is mixed into a thin film, grown by the inflow of hydrogen gas into atmosphere upon forming the film to hydrogenate the  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> or the amorphous FeSi<sub>x</sub> in the thin film growing method of the  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> or the amorphous FeSi<sub>x</sub>.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

04.06.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

Post Available 0037

Post Available 0037

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-47601

(P2004-47601A)

(43) 公開日 平成16年2月12日(2004.2.12)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

H01L 21/363

C23C 14/06

C23C 14/14

F1

H01L 21/363

C23C 14/06

C23C 14/14

E

A

テーマコード(参考)

4K029

5F103

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号

特願2002-200948 (P2002-200948)

(22) 出願日

平成14年7月10日(2002.7.10)

(71) 出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(74) 代理人 100108671

弁理士 西 義之

(72) 発明者 吉武 剛

福岡県太宰府市観世音寺1-19-18-303

(72) 発明者 前田 佳均

奈良県奈良市法蓮町1187-3

(72) 発明者 宮尾 正信

福岡県福岡市西区小戸5-7-1-11

(72) 発明者 佐道 泰造

福岡県福岡市東区和白東2-24-22

最終頁に続く

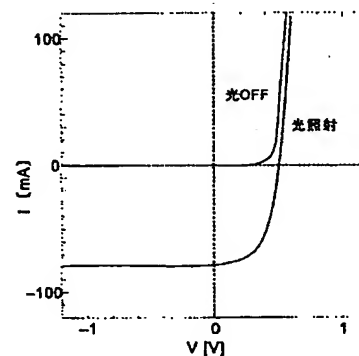
(54) 【発明の名称】 鉄シリサイド半導体薄膜及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 $\beta\text{-FeSi}_2$  の光・電気特性は、最近詳細に調べられ明らかになってきており、アモルファス鉄シリサイド半導体についてもその光・電気特性が徐々に明らかになりつつある中で、今後、それらの特性制御が大きな課題とされている。

【構成】水素化により光学バンドギャップを変化させたことを特徴とする鉄シリサイド半導体薄膜。水素化によりキャリア濃度を制御したことを特徴とする鉄シリサイド半導体薄膜。 $\beta\text{-FeSi}_2$  又はアモルファス $\text{FeSi}_x$  の薄膜成長法において、成膜時の雰囲気中に水素ガスを流入して成長する薄膜中に水素を混入することにより $\beta\text{-FeSi}_2$  又はアモルファス $\text{FeSi}_x$  を水素化する鉄シリサイド半導体薄膜の製造方法。

【選択図】 図15



FP03-0399
-00W0-ID
04.3.9
SEARCH REPORT

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

水素化により光学バンドギャップを変化させたことを特徴とする鉄シリサイド半導体薄膜。

**【請求項 2】**

光学バンドギャップが 0.6～1.1 eV の範囲の  $\beta\text{-FeSi}_2$  からなることを特徴とする請求項 1 記載の鉄シリサイド半導体薄膜。

**【請求項 3】**

光学バンドギャップが 0～1.85 eV の範囲のアモルファス  $\text{FeSi}_x$  ( $x$  は 1～ $\infty$ ) からなることを特徴とする請求項 1 記載の鉄シリサイド半導体薄膜。

10

**【請求項 4】**

水素化によりキャリア濃度を制御したことを特徴とする鉄シリサイド半導体薄膜。

**【請求項 5】**

請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の鉄シリサイド半導体薄膜を用いたことを特徴とする光・電子素子。

**【請求項 6】**

$\beta\text{-FeSi}_2$  又はアモルファス  $\text{FeSi}_x$  の薄膜成長法において、成膜時の雰囲気へ水素ガスを流入して成長する薄膜中に水素を混入することにより  $\beta\text{-FeSi}_2$  又はアモルファス  $\text{FeSi}_x$  ( $x$  は 1～ $\infty$ ) を水素化することを特徴とする請求項 1 ないし 4 記載の鉄シリサイド半導体薄膜の製造方法。

20

**【発明の詳細な説明】****【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、鉄シリサイド半導体薄膜及びその製造方法に関する。

**【0002】****【従来の技術】**

次世代の産業材料は資源寿命の心配がなく、低環境負荷型の元素のみから構成されることが理想である。その候補元素として、資源寿命を考える必要のない大気構成元素 (N、O) や、資源寿命の極めて長い元素 (Si、Ca、Ga) や、リサイクル率の高い元素 (Fe、Cu) が考えられる。

30

**【0003】**

以上の考えに沿えば、環境材料としては、例えば、半導体では GaN、 $\text{Cu}_2\text{O}$ 、 $\beta\text{-FeSi}_2$  等の多様なものが考えられる。その中でも、 $\beta\text{-FeSi}_2$  は、Si 基板上にエピタキシャル成長可能である、吸収係数が高い (可視波長で  $\sim 10^5 \text{ cm}^{-1}$ )、0.85 eV のバンドギャップを持つ直接遷移型の半導体であることから、次世代の半導体材料として大変注目を集めている。

**【0004】**

具体的な応用としては高効率太陽電池材料やフォトダイオードや発光ダイオードなどの光デバイス材料が挙げられ、 $\beta\text{-FeSi}_2$  薄膜の形成方法に関するもの (特開 2001-64099 号公報) や太陽電池 (特開平 11-103080 号公報) や、発光素子に関するもの (特開 2000-133836 号公報、特開 2001-127338 号公報、特開 2002-57368 号公報、特開 2002-76431 号公報、特表 2001-502477 号公報等) が特許出願されている。

40

**【0005】****【発明が解決しようとする課題】**

本発明者らは、先に、レーザーアブレーション法で基板上に堆積したままで  $\beta$  相の  $\text{FeSi}_2$  薄膜を堆積する方法を開発した (特開 2000-178713 号公報)。さらに、対向ターゲット式 DC スパッタリング法による  $\beta$  相の  $\text{FeSi}_2$  薄膜を堆積する方法に関して特許出願した (特願 2001-386820)。また、ごく最近、組成比がほぼそのままアモルファス状態になった場合にも半導体特性を示す膜が得られることを報告し (「

50

第62回応用物理学会学術講演予稿集」1022ページ、2001年9月11日、「平成13年度応用物理学会九州支部講演会講演予稿集」86ページ、2001年12月1日）、これも同様に注目されており、関連する発明を特許出願（特願2001-386824、特願2001-387341）している。

このような方法で成膜した連続膜はアモルファス状態の膜で0.64~0.70 eVの光学バンドギャップを示し、 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>膜は0.85~0.92 eVの光学バンドギャップを示した。

#### 【0006】

$\beta$ -FeSi<sub>2</sub>の光・電気特性は、最近詳細に調べられ明らかになってきており、アモルファス鉄シリサイド半導体についてもその光・電気特性が徐々に明らかになりつつある中で、今後、それらの特性制御が大きな課題とされている。 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>とアモルファス鉄シリサイド半導体を、今後様々なデバイスへ用いる場合、光及び電気特性の制御が必要となる。特に、キャリア濃度の低減と制御、及びバンドギャップの制御などは必要不可欠である。

#### 【0007】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明者は、鉄シリサイド半導体の $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>又はアモルファスFeSi<sub>x</sub>（xは1~∞）の水素化により上記の課題が解決できることを見出した。

すなわち、本発明は、水素化により光学バンドギャップを変化させたことを特徴とする鉄シリサイド半導体薄膜である。

また、本発明は、光学バンドギャップが0.6~1.1 eVの範囲の $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>からなることを特徴とする上記の鉄シリサイド半導体薄膜である。

また、本発明は、光学バンドギャップが0~1.85 eVの範囲のアモルファスFeSi<sub>x</sub>（xは1~∞）からなることを特徴とする上記の鉄シリサイド半導体薄膜である。

また、本発明は、水素化によりキャリア濃度を制御したことを特徴とする鉄シリサイド半導体薄膜である。

また、本発明は、上記の鉄シリサイド半導体薄膜を用いたことを特徴とする光・電子素子である。

#### 【0008】

さらに、本発明は、 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>又はアモルファスFeSi<sub>x</sub>の薄膜成長法において、成膜時の雰囲気中に水素ガスを流入して成長する薄膜中に水素を混入することにより $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>又はアモルファスFeSi<sub>x</sub>（xは1~∞）を水素化することを特徴とする上記の鉄シリサイド半導体薄膜の製造方法である。

#### 【0009】

本発明において、水素化とは、薄膜成長時に水素が薄膜内に混入 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>又はアモルファスFeSi<sub>x</sub>のSi原子および/またはFe原子と結合することをいう。水素化によりアモルファスFeSi<sub>x</sub>はFeリッチな場合の約ゼロからSi100%の場合の1.85 eVまで0~1.85 eVの範囲で、 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>は0.6~1.1 eVの範囲でバンドギャップを変化させることができる。よって、バンドギャップの調整により、発光素子のハイブリッド化や発受する光の波長を最適化できる。

#### 【0010】

また、 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>又はアモルファスFeSi<sub>x</sub>を水素化することにより電気抵抗、すなわちキャリア濃度を制御することができる。キャリア濃度制御は発光素子や回路等のデバイス設計に必要不可欠である。キャリア濃度の制御は、この材料の電子デバイスへの応用を可能とする。キャリア濃度を示す比抵抗は、水素化の度合いが大きくなるとともに、一旦増加した後減少する。 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>又はアモルファスFeSi<sub>x</sub>に含有される水素は少量ではFe、Si及びHからなり斜方晶の結晶構造の結晶格中に含まれる非結合電子を終端してキャリア濃度の低減をもたらす、ある程度以上を含まれるとキャリアの発生に寄与していると考えられる。

#### 【0011】

## 【発明の実施の形態】

本発明の鉄シリサイド半導体薄膜は、通常の薄膜成長法、例えば、レーザーアブレーション法、スパッタリング法、蒸着法、イオンプレーティング法などの物理気相成長法や化学気相成長法を用いて製造できる。400℃を境界とした基板温度の違いにより、水素化 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>膜又は水素化アモルファスFeSi<sub>x</sub>を成長することができる。

## 【0012】

レーザーアブレーション法においては、FeSi<sub>x</sub>ターゲットへのレーザー照射、又はFeとSiターゲットを同時又は交互にレーザー照射、又は加熱されたSi基板の場合のFeターゲットへのレーザー照射を用いた膜成長時の雰囲気中に水素ガスを流入して水素ガスの圧力を調整することで、水素含有量の調整された $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>又はアモルファスFeSi<sub>x</sub>を作製する。 10

## 【0013】

また、スパッタリング法においては、FeSi<sub>x</sub>ターゲットのスパッタリング、又はFeとSiターゲットを同時又は交互のスパッタリング、又は加熱されたSi基板の場合のFeターゲットのスパッタリングを用いた膜成長時のスパッタリング用希ガスに水素ガスを流入して、スパッタリング用ガスと水素ガスの流入量の比を調節することで、水素含有量の調整された $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>又はアモルファスFeSi<sub>x</sub>を作製する。スパッタリング用希ガスには、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノンのいずれかの成分を含むようにする。

## 【0014】

薄膜成長時の雰囲気中の水素ガスの圧力を調整することによって、 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>又はアモルファスFeSi<sub>x</sub>の薄膜内部に含まれる水素量を制御することで、鉄シリサイド半導体薄膜の光学的バンドギャップを変えることができる。さらに、水素流入量を変化させて膜作製することで、膜の深さ方向に異なる光学バンドギャップの膜を容易に作製可能である。水素化の度合いが大きくなるとともに、光学バンドギャップが増加する。 20

## 【0015】

同様に、 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>又はアモルファスFeSi<sub>x</sub>薄膜内部に含まれる水素量を制御することで、キャリア濃度を低減させ、又は、キャリア濃度を増加させる効果によって、鉄シリサイド半導体薄膜の電気特性を制御することができる。

キャリア濃度を低減させ、又は、キャリア濃度を増加させる境界の水素含有量は10at%程度であるが、この境界は生成膜の結晶性に依存し、悪い場合は大い方に、良い場合は小さい方にシフトする。 30

## 【0016】

本発明の水素化鉄シリサイド半導体薄膜を用いて、既存のSiやGaAs系半導体を用いて作製される光電子素子と同様のpn接合型受光素子などの光・電子素子を製造することができる。水素化していない $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>又はアモルファスFeSi<sub>x</sub>ではまだpn接合を示す膜は得られていないが、本発明の水素化した鉄シリサイド膜を用いてpn接合膜がはじめて実現できた。シリコンとのpn接合膜を作製したい場合は、例えば、n型Si基板上にp型の $\beta$ -FeSi膜を作製すればよい。

## 【0017】

## 実験1

以下にレーザーアブレーション法による水素化鉄シリサイド薄膜の製造方法と得られた薄膜の特性について具体的に説明する。

真空チャンバー内をターボ分子ポンプにより $2 \times 10^{-7}$  Torr以下に排気した後、水素を0.1~10Paの圧力範囲で流入した真空チャンバー内において、ArFエキシマレーザー（波長193nm、FWHM=20ns）を組成比1:2のFeSi<sub>2</sub>アモルファス合金（99.99%）ターゲットに集光して入射角45°で照射し、50mm離れて対向するSi基板上に膜堆積を行った。ターゲットー基板間には高速回転可能な羽根型回転フィルターを設置してドロップレットの捕獲を行った。レーザーパルスのフルエンスFは4J/cm<sup>2</sup>、くり返し周波数は10Hz、基板温度は室温（20℃）と700℃と 50

した。

#### 【0018】

生成膜の評価はSEM観察、X線回折、光吸収スペクトル測定、電気抵抗測定を行った。  
400℃以下でアモルファス $\text{FeSi}_x$ が、400℃以上で $\beta\text{-FeSi}_2$ 膜が生成するが、雰囲気ガスの水素の圧力を変えることでアモルファス $\text{FeSi}_x$ 及び $\beta\text{-FeSi}_2$ の水素化を行った。

#### 【0019】

図1に、水素の圧力を0Pa、0.3Pa、3Paにした場合の $\beta\text{-FeSi}_2$ 膜のX線回折パターンの変化(aは $2\theta-\theta$ スキャン、bは $2\theta$ スキャン)を示す。水素の圧力が高くなっても $\beta\text{-FeSi}_2$ からのピークは観測され、水素が薄膜に混入しても $\beta\text{-FeSi}_2$ 膜が成長していることが分かる。アモルファス $\text{FeSi}_x$ が生成した場合は、非晶質のためXRDピークは水素の圧力にかかわらず観測されない。

#### 【0020】

図2に、水素化アモルファス $\text{FeSi}_x$ の典型的な吸収スペクトルを示す。図3に、水素化 $\beta\text{-FeSi}_2$ の典型的な吸収スペクトルを示す。ともに、水素フリーの場合に比べて、バンドギャップが増加しており、吸収係数の2乗にフィティング出来ることから直接遷移型となっていることが分かる。

#### 【0021】

図4に、光学バンドギャップ(縦軸:  $E_g$  [eV])の水素圧力(横軸: [Pa])に対する依存性を示す。水素圧力の増加、すなわち膜中の水素混入量の増加とともに、光学バンドギャップが増加する。

#### 【0022】

図5に、比抵抗(縦軸:  $\rho_s$  [ $\Omega$ ])の水素圧力(横軸: [Pa])依存性を示す。比抵抗は $\beta\text{-FeSi}_2$ の方がアモルファス $\text{FeSi}_x$ に比べて1桁大きい。ともに水素圧力の増加とともに一旦増加した後、減少する。水素が膜中に混入することにより非結合電子が終端されキャリア濃度が減少すること、過度に水素が混入すると水素の非結合電子がキャリアの原因となって電気抵抗を低減させることが分かる。

#### 【0023】

##### 実験2

以下に対向ターゲット式スパッタリング法による水素化鉄シリサイド薄膜の製造方法と得られた薄膜の特性について具体的に説明する。

チャンバー内をターボ分子ポンプを用いて $10^{-4}$  Pa以下まで排気し、Arガスと水素ガスをチャンバー内に流入して全圧を $1.33 \times 10^{-1}$  Paとした。ターゲットには組成比1:2の $\text{FeSi}_2$ 合金(99.99%)を使用した。印加電圧、電流をそれぞれ950mV、6.0mAとし、Si基板上に、室温(20℃)と700℃でそれぞれアモルファス $\text{FeSi}_x$ 及び $\beta\text{-FeSi}_2$ を膜厚約240 nm成膜した。

#### 【0024】

生成膜の評価はSEM観察、X線回折、光吸収スペクトル測定、電気抵抗測定を行った。  
400℃以下でアモルファスライクな $\text{FeSi}_x$ が、400℃以上で $\beta\text{-FeSi}_2$ 膜が生成するが、アルゴンガスと水素ガスの比を調節することによりアモルファスライク $\text{FeSi}_x$ 及び $\beta\text{-FeSi}_2$ の水素化を行った。

#### 【0025】

図6に、得られた水素化 $\beta\text{-FeSi}_2$ 膜のX線回折パターンを示す。また、図7に、得られた水素化アモルファス $\text{FeSi}_x$ 膜のX線回折パターンを示す。図6に示すように、水素分圧にかかわらず $\beta\text{-FeSi}_2$ の回折ピークが観測され、水素化された $\beta\text{-FeSi}_2$ が成長している。図7に示すように、室温では水素分圧にかかわらずブロードなピークが観測され、アモルファス $\text{FeSi}_x$ が成長している。

#### 【0026】

図8に、水素化されていないアモルファス $\text{FeSi}_x$ の典型的な吸収スペクトルを示す。また、図9に、水素化された $\text{FeSi}_x$ の典型的な吸収スペクトルを示す。吸収スペクトル

は縦軸が吸収係数の2乗の場合にはほぼ直線にのることから、直接遷移型半導体となっていることが分かる。水素化した薄膜の方がバンドギャップが大きくなっていることが分かる。

#### 【0027】

図10に、無水素 $\beta\text{-FeSi}_2$ の典型的吸収スペクトルを示す。また、図11に、水素化 $\beta\text{-FeSi}_2$ の典型的な吸収スペクトルを示す。アモルファス $\text{FeSi}_x$ と同様に、直接遷移型半導体となっており、また水素化 $\beta\text{-FeSi}_2$ の方がバンドギャップが大きくなっている。

#### 【0028】

図12に、光学バンドギャップ(縦軸: $E_g[\text{eV}]$ )の水素分圧( $P_{\text{H}_2}/P_{\text{Ar}}$ )に対する変化を示す。水素分圧が高くなるとともに光学バンドギャップは増加しており、薄膜中の水素含有量が大きくなるとともに光学バンドギャップが大きくなることが分かる。

#### 【0029】

図13に、比抵抗(縦軸: $\rho_s[\Omega]$ )の水素分圧( $P_{\text{H}_2}/P_{\text{Ar}}$ )に対する変化を示す。比抵抗は水素の圧力の増加とともに一旦増加した後、減少する。水素が薄膜中に混入することにより非結合電子が終端されキャリア濃度が減少すること、過度に水素が混入すると水素の非結合電子がキャリアの原因となって電気抵抗を低減させることが分かる。

#### 【0030】

##### 【実施例】

##### 実施例1

既存のSiやGaAs系半導体を用いて作製される光電子素子と同様の素子に対向ターゲット式DCスパッタリング方により成膜した水素化 $\beta\text{-FeSi}_2$ を用いて作製した。ターゲットには、P(リン)を $10^{19}\text{ cm}^{-3}$ ドープさせた組成比1:2の $\text{FeSi}_2$ 合金(99.99%)とB(ボロン)を $10^{15}\text{ cm}^{-3}$ ドープさせた組成比1:2の $\text{FeSi}_2$ 合金(99.99%)を使用した。チャンバー内はターボ分子ポンプを用いて $10^{-4}\text{ Pa}$ 以下まで排気した後、Arガスに15sccmの水素ガスを加えて流入して、チャンバー内の全圧を $1.33 \times 10^{-1}\text{ Pa}$ として成膜を行った。

#### 【0031】

基板には絶縁性の石英ガラスを用い、基板温度は $600^\circ\text{C}$ とした。基板上にまずPがドープされたターゲットを用いてp型水素化 $\beta\text{-FeSi}_2$ を $5\mu\text{m}$ 、その後Bがドープされたターゲットを用いてn型水素化 $\beta\text{-FeSi}_2$ を $30\text{ nm}$ 積層した。

#### 【0032】

図14に、水素化 $\beta\text{-FeSi}_2$ を用いて絶縁性の石英ガラス基板1上にp型水素化 $\beta\text{-FeSi}_2$ 薄膜2を成膜し、その上にさらにn型水素化 $\beta\text{-FeSi}_2$ 薄膜3を成膜し、p型水素化 $\beta\text{-FeSi}_2$ 薄膜2とn型水素化 $\beta\text{-FeSi}_2$ 薄膜3のそれぞれに電極4を形成したpn接合型受光素子の構造を模式的に示す。

#### 【0033】

図15に、該素子のI-V特性を示す。Siを用いたpn接合素子と同様に、光を照射しない場合と、照射した場合とでpn接合に典型的なI-V特性が観測された。光照射時のV軸、I軸の切片がそれぞれ開放電圧、短絡電流とよばれ、これらの積が光電変換素子として考えた場合に取り出せる最大電力に相当する。明白な開放電圧、短絡電流が存在し、光電素子として機能していることが分かり、 $\beta\text{-FeSi}_2$ でpn結合膜が実現できたことが確認された。

#### 【0034】

##### 【発明の効果】

本発明の鉄シリサイド半導体薄膜は、様々なデバイスへ用いる場合に、所望のバンドギャップを持たせることにより光及び電気特性の制御を可能とするとともに、同一素子上で異なる光感度をもつ光電変換素子を実現することもできる。

##### 【図面の簡単な説明】

【図1】 実験1において作製された水素化 $\beta\text{-FeSi}_2$ 膜のX線回折パターンである。



【図2】実験1において作製された水素化アモルファス膜（水素圧力0.3 Pa）の典型的な吸収スペクトルである。

【図3】実験1において作製された水素化 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>膜（水素圧力0.3 Pa）の典型的な吸収スペクトルである。

【図4】実験1において作製された水素化アモルファス膜及び $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>の水素圧力に対する光学バンドギャップの変化を示すグラフである。

【図5】実験1において作製された水素化アモルファス膜及び $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>の水素圧力に対する比抵抗の変化を示すグラフである。

【図6】実験2において作製された水素化 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>膜のX線回折パターンである。

【図7】実験2において作製された水素化アモルファスFeSi<sub>x</sub>膜のX線回折パターンである。 10

【図8】実験2において作製された水素化されていないアモルファスFeSi<sub>x</sub>膜の典型的な吸収スペクトルである。

【図9】実験2において作製された水素化アモルファスFeSi<sub>x</sub>膜の典型的な吸収スペクトルである。

【図10】実験2において作製された水素化されていない $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>膜の吸収スペクトルである。

【図11】実験2において作製された水素化 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>膜の典型的な吸収スペクトルである。

【図12】実験2において作製された水素化アモルファスFeSi<sub>2</sub>（700℃）と $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>（30℃）の水素化に伴う光学バンドギャップの変化を示すグラフである。 20

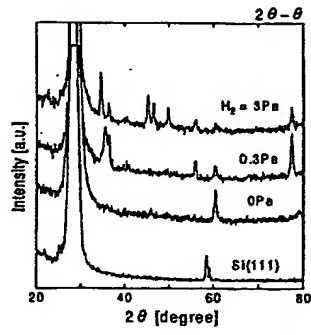
【図13】実験2において作製された水素化 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>（700℃）とアモルファスFeSi<sub>2</sub>（30℃）の水素化に伴う比抵抗の変化を示すグラフである。

【図14】実施例1において作製された水素化 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>を用いたpn接合型受光素子の構造の模式図である。

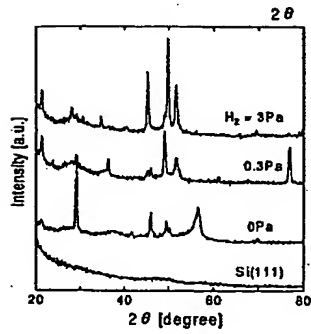
【図15】実施例1において作製された水素化 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>を用いたpn接合型受光素子のI-V特性を示すグラフである。

【図 1】

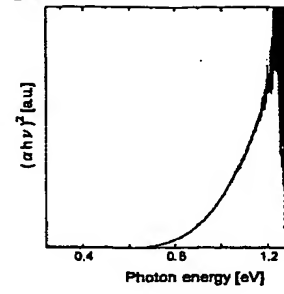
(a)



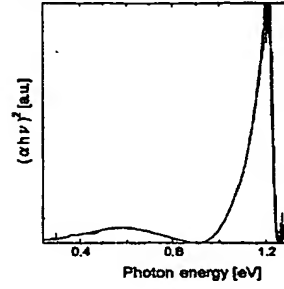
(b)



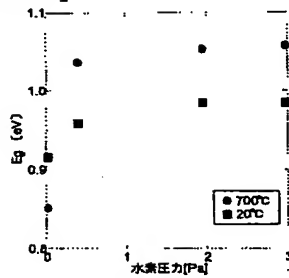
【図 2】



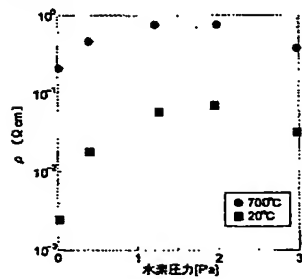
【図 3】



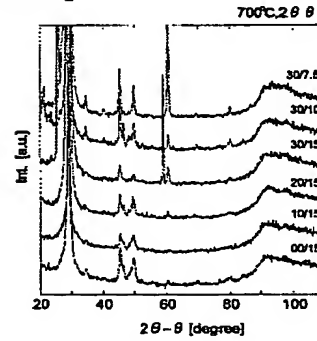
【図 4】



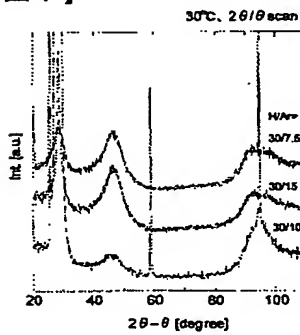
【図 5】



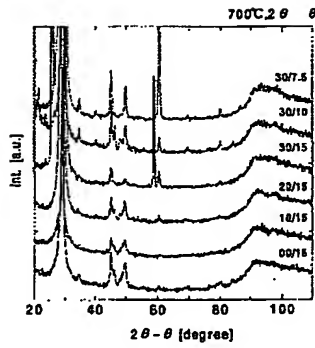
【図 6】



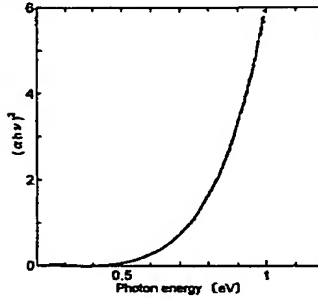
【図 7】



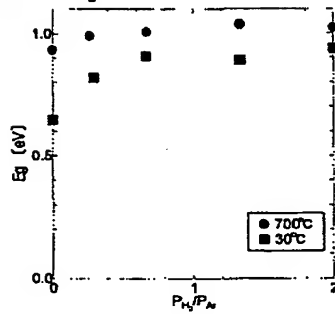
【図 8】



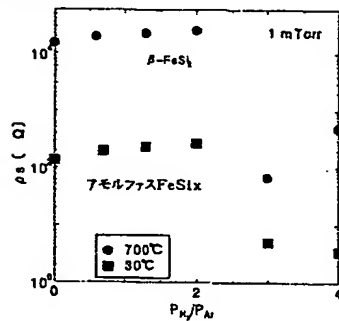
【図 9】



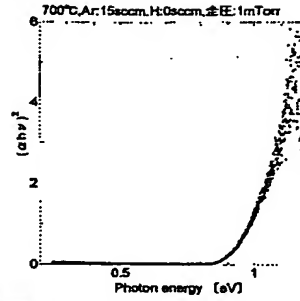
【図 12】



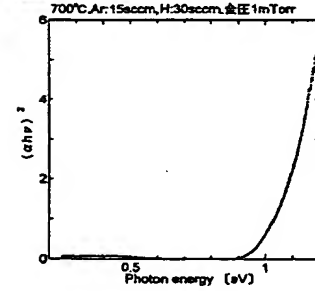
【図 13】



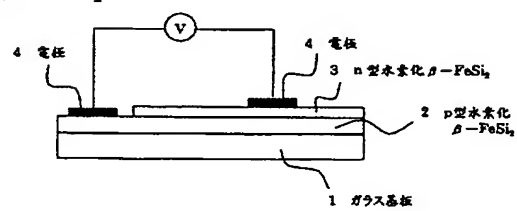
【図 10】



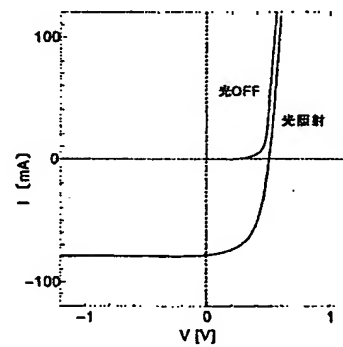
【図 11】



【図 14】



【図 15】



## 【手続補正書】

【提出日】平成14年7月31日(2002.7.31)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0003

【補正方法】変更

【補正内容】

【0003】

以上の考えに沿えば、環境材料としては、例えば、半導体ではGaN、Cu<sub>2</sub>O、 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>等の多様なものが考えられる。その中でも、 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>は、Si基板上にエピタキシャル成長可能である、吸収係数が高い(可視波長で $\sim 10^5 \text{ cm}^{-1}$ ) 0.85 eVのバンドギャップを持つ直接遷移型の半導体であることから、次世代の半導体材料として大変注目を集めている。

## 【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0030

【補正方法】変更

【補正内容】

【0030】

## 【実施例】

## 実施例1

既存のSiやGaAs系半導体を用いて作製される光電子素子と同様の素子に対向ターゲット式DCスパッタリング方により成膜した水素化 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>を用いて作製した。ターゲットには、P(リン)を $10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ドープさせた組成比1:2のFeSi<sub>2</sub>合金(99.99%)とB(ボロン)を $10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ドープさせた組成比1:2のFeSi<sub>2</sub>合金(99.99%)を使用した。チャンバー内はターボ分子ポンプを用いて $10^{-4}$  Pa以下まで排気した後、Arガスに15 sccmの水素ガスを加えて流入して、チャンバー内の全圧を $1.33 \times 10^{-1}$  Paとして成膜を行った。

---

フロントページの続き

F ターム(参考) 4K029 BA35 BA52 BA64 BC00 BC07 BD00 CA00 CA02 CA06 DB20  
DC34  
5F103 AA02 AA08 AA10 DD30 GG03 HH03 KK03 KK10 LL04 LL05  
PP20 RR04 RR05 RR06 RR10

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**